

補綴冠接着層の破壊の拡大に関する考察

著者	桜岡 充
雑誌名	日本歯科大学紀要．一般教育系
巻	18
ページ	11-19
発行年	1989-03-20
URL	http://doi.org/10.14983/00000342



補綴冠接着層の破壊の拡大に関する考察

On the Ingravescient Progress of a Fracture in the Cement Layer
between a Restored Crown and the Tooth Structure

新潟歯学部 桜 岡 充

Mitsuru SAKURAOKA: The Nippon Dental University, Hamaura-cho 1-8,
Niigata 951, JAPAN

(1988 年 12 月 7 日受理)

Abstract

Concentrated fracture stresses in the cement layer induced by simulated functional loads to a restored tooth model are calculated using finite element method. The cured cement will be assumed to be "a brittle material" in the sense of fracture mechanics. The progress of the destruction of the cement layer are reported.

要旨：模型化した完全冠装着臼歯に関して、その外力作用時の挙動を静弾性力学の観点より調べる。この小論では、接着剤層を破壊力学における脆性材料であると仮定する。接着剤層の破壊（凝集破壊）によって起る冠脱落への過程（破壊の拡大過程）を有限要素法により解析し報告する。

緒 言

装着冠脱落の一形態に接着剤層の破壊（凝集破壊）によるものがある。拙著〔有限要素応力解析に基づく冠補綴物と歯科接着剤の材質的適合性、本誌16号、33（1987）；冠補綴物と接着剤の弾性適合性、本誌17号、31（1988）；以下これらを前論文A、前論文Bで参照する。*〕において、冠の保持力と冠、接着剤、歯質の硬さの関連を論じた。その際、凝集破壊の進展は以下のものであろうとの前提を置いて議論を進めている：

“咀嚼あるいは咬合時の外力によって接着剤層内に誘起された集中応力は、その接着剤固有の強度（RFS）を超えたときその場所に fine crack を生ぜしめる。そうすると接着剤層中のその部分はもはや stress を分担しなくなるので応力集中点は別の場所に移動し、そこに再び fine crack が生み出される。この繰返しによって fine crack は大きな crack に成長してゆく。そしてついには接着剤層が崩壊し補綴冠の脱落に到るのである。従って、凝集破壊の第一段階は応力集中点に fine crack を生み出すことである。そしてこの第一撃：fine crack を与え得る potentiality は接着剤層中に誘起される集中破壊応力の最大値そのものである。結局、冠の保持力は接着剤層内に出現する最大破壊応力（OMTS）〔硬化後の接着剤は、おおむね脆性材料であるので OMTS は最大引張応力である。〕に反比例することになる。勿論、保持力は接着剤それ自体の強度（RFS）にも比例するので

$$R(\text{冠の保持力}) = \frac{(\text{接着剤の強度: RFS})}{(\text{接着剤層中に誘起され得る最大破壊応力: OMTS})} \cdots \cdots (1)$$

と書ける。こう書いた時の比例定数は歯牙の種類、支台歯や冠の型や精度、装着時の技術差、水や酸に対する漏洩の多寡等々によって異なってくる。”

この第一撃であるところの first fine crack から冠脱落に到る凝集破壊の拡大過程を computer simulation により解析し、接着剤層の破壊の進行と共に冠の保持力が減少してゆく様子を紹介するのが本小論の目的である。

* この小論には参考文献の羅列を省略する。前論文 A を参照されたい。

Modelの詳細と解析条件

この小論で対象とする補綴処置歯を Fig. 1 に与えてある。象牙質は均質等方的であって歯根先端部で固定されているとする2次元平面歪問題として解析を進める。〔詳しくは前論文 A を参照。〕また冠および接着剤層の Young 率 E_R および E_C の象牙質の Young 率 E_D との比として

$$\begin{cases} E_R/E_D = 1.5, \\ E_C/E_D = 0.35, \end{cases} \dots\dots\dots (2)$$

である場合について、今回は報告する。

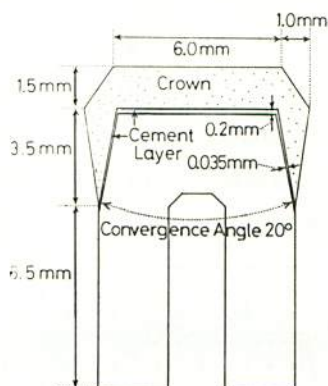


Fig. 1 Geometry of the restored tooth model.
完全冠装着歯の模型の説明。

ところで冠装着歯に作用する外力は極めて多岐にわたる。これら多様な外力の中で接着剤層に第一の打撃：fine crack を作り出す外力とはどのようなものであろうか。これは歯牙に作用する外力として疑う余地がない程圧倒的に大きい咀嚼咬合時の力であろう。そして、これは歯軸の向きと大きくは異ならない向きを持つ圧縮力である。そこでこの小論では上記の凝集破壊に対し決定的に有効な外力を Fig. 2 に描いた単位の大きさ (1mm^{-1}) の7種の外力で代表させることにする。つまり冠装着歯には咬合圧の外にも粘着力や摩擦力等の、歯軸方向に対して垂直あるいはそれ以上の角度をもつ外力も作用する事は勿論である。これらの合力としての外力で圧倒的に大きく凝集破壊に決定的と考えられるものは load 1～load 7 の7種の力 (effective load) で代表できるとする訳である。これら7種の外力が独立に作用したという7つの場合すべてを考える事によって解析してみるというこ

とである。

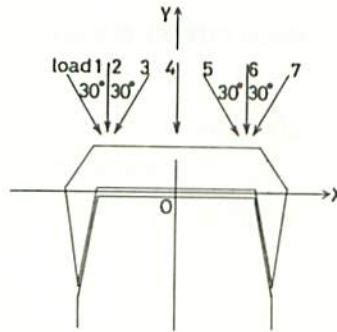


Fig. 2 An orthogonal coordinate system, O-xy, and the seven functional loads.
7種の外力と座標の導入。

さて、load1～load7のいずれかの外力が冠装着歯に作用したとき、接着剤層内には対応する分布応力が誘起される訳であるがこれを知るにはその条件下での静弾性方程式を解かねばならない。この際、Fig. 1の単純な形状についてさえ勿論、解析的解法は不可能であるため有限要素法という強力な近似解法に訴える事になる。要素分割はFig. 3の通りである。補綴冠、接着剤、象牙質の分割要素数はそれぞれ268, 158, 287である。

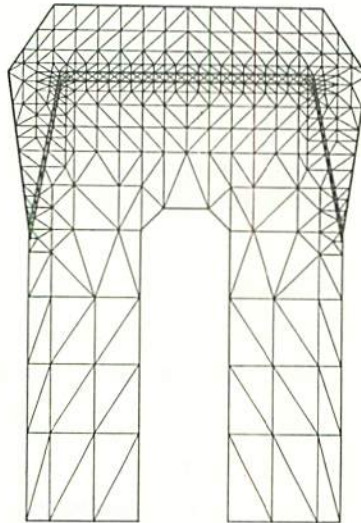


Fig. 3 Finite element mesh for the model tooth.
要素分割の説明図。

さて、7種の外力が次々に作用したとき、接着剤層の破壊（脆性破壊であるとする。）を支配する最大引張応力（OMTS）が接着剤層の、ある分割要素に出現したとしよう。

〔前論文 A によれば、これは load 3（勿論 load 5 も対称の位置に対して全く同じであるが。）が作用した場合に実現する。〕これが接着剤固有の強度（RFS）を超えているときその要素内に crack が出現し破壊が始まると考えるのである。そこで今、ある分割要素に OMTS が出現しその要素が破壊されたとしよう。連続する咀嚼咬合運動の際の外力の典型例としての Fig. 2 の 7 種の外力がそれぞれ独立に cyclic に反復作用している場合、先程破壊された要素は応力を分担しない訳である。従って第二段階の破壊の拡大を見ようとするとき、問題の既破壊要素は空洞になったと近似して、再び 7 種の外力が次々に作用した時の OMTS とそれが出現する分割要素（つまり第 2 番目に破壊される要素）を計算する。次には、これら 2 つの分割要素を空洞として第 3 の被破壊要素と OMTS を計算する。これを繰り返すことにより凝集破壊の“進行の様子”と“破壊の進捗度に応じた OMTS の増大＝接着層が破壊されやすくなってゆくゆき方”を simulate する事ができる。

結 果 と 考 察

Table 1 に破壊の進行の順序を追って、最も効果的な外力番号、破壊される要素の重心の座標、OMTS の値を 50 番目まで示してある。〔但し、前にも触れたように最初の破壊は load 3 によって重心が（0.96mm, 0mm）の要素で発生するとしたが、我々の model 臼歯は y 軸に関し対称であるので、load 5 によって重心が（-0.96mm, 0mm）の分割要素から発生するとしても良い。勿論こうした場合以下のすべての議論は y 軸に関して対称に折り返すことになる。〕

Fig. 4 には最初の 10 番目までの被破壊要素を示してある。また、Fig. 5—Fig. 8 にはその後の 10 段階ごとの破壊の進行を既破壊要素を黒く塗り潰した上で示してある。

さて、Table 1 より同一の大きさの外力が補綴処置歯に作用した場合、破壊の進行と共に接着剤層内に現れる最大破壊応力 OMTS は増大してゆく。つまり、当然のことであるが破壊されやすくなってゆく訳である。このように接着剤層中に第一撃：first fine crack を作り出すのが最も大変なのであって、その後は容易に破壊が進行するのである。故に冠の保持力は first fine crack を与える外力の大きさに比例するとした前論文 A, B の仮定は側面から支持される事になる。Table 1 より例えば、40 番目までの破壊が起ると、41 番目の OMTS は 1.21mm^{-1} と大きく

$$1.21/0.15=8.1$$

より、第一番目の破壊を与える外力に比べると 1/8 という僅かの外力で 41 番目の要素の破壊が進行することになる。今の場合 Fig. 8 より解るように接着剤層の可成の部分が崩

Table 1. The number of the most effective external load, a magnitude of the maximum fracture stress (OMTS) and the center of the element in which OMTS appears, at a period of the progress of a fracture.

破壊の各進行段階において、最も効果的に破壊を引き起す外力番号と、その外力が作用した場合の最大破壊応力 (OMTS) および破壊される分割要素の重心座標。

破壊の段階	破壊を引き起す外力番号	破壊される要素の重心 (mm)		OMTS (mm ⁻¹)
		X 座 標	Y 座 標	
1	3	0.91	0	0.15
2	3	0.88	-0.07	0.21
3	3	1.04	0	0.21
4	3	1.13	0.07	0.26
5	3	1.29	0	0.22
6	3	1.38	0.07	0.26
7	3	0.71	0	0.23
8	3	0.63	-0.07	0.36
9	3	1.21	0	0.26
10	3	1.54	0	0.25
11	3	1.63	0.07	0.29
12	3	1.46	0	0.30
13	3	1.79	0	0.29
14	3	1.88	0.07	0.30
15	3	1.71	0	0.31
16	3	0.79	0	0.32
17	3	0.46	0	0.33
18	3	0.38	-0.07	0.48
19	3	2.04	0	0.33
20	3	2.13	0.07	0.32
21	3	1.96	0	0.43
22	3	0.54	0	0.41
23	3	0.21	0	0.44
24	3	0.13	-0.07	0.60
25	3	2.29	0	0.40
26	3	2.38	0.07	0.45
27	3	2.21	0	0.51
28	3	-0.04	0	0.47
29	3	-0.13	-0.07	0.70
30	3	0.29	0	0.60
31	5	0.13	0.07	0.55
32	5	-0.21	0	0.60
33	3	-0.38	-0.07	0.60
34	3	-0.29	0	0.87
35	5	-0.46	0	0.89
36	3	-0.63	-0.07	0.76
37	3	-0.54	0	0.93
38	5	-0.71	0	0.93
39	3	-0.88	-0.07	0.69
40	3	-0.79	0	0.88
41	5	-0.96	0	0.92
42	5	-1.04	0	0.64
43	5	-1.13	0.07	0.96
44	3	-1.13	-0.07	1.05
45	5	-1.29	0	0.71
46	5	-1.38	0.07	1.26
47	3	-1.38	-0.07	1.36
48	5	-1.54	0	1.03
49	5	-1.63	0.07	1.36
50	3	-1.63	-0.07	1.89

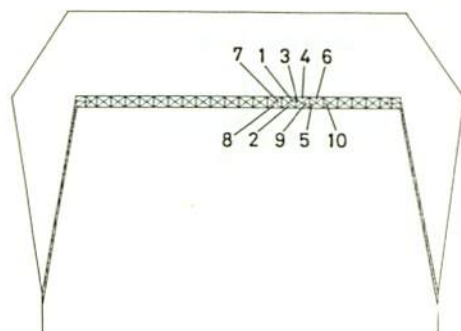


Fig. 4 Ten elements fractured at the beginning. The numbers, 1, 2, ..., indicate the orders of fracture.
最初に破壊される10個の分割要素。数字は破壊の順序を表す。

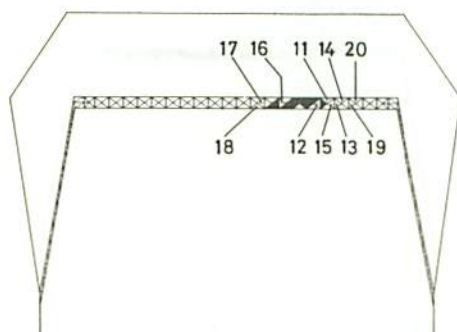


Fig. 5 Ten elements which will be fractured in the orders from 11st to 20th. A blacked out device indicates the previously fractured part of the cement layer.
11番目から20番目までに破壊が進行する要素。既破壊要素は黒く塗りつぶしてある。

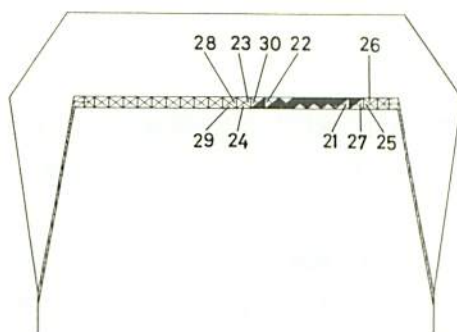


Fig. 6 Ten elements which will be fractured in the orders from 21st to 30th.
21番目から30番目までの被破壊要素。

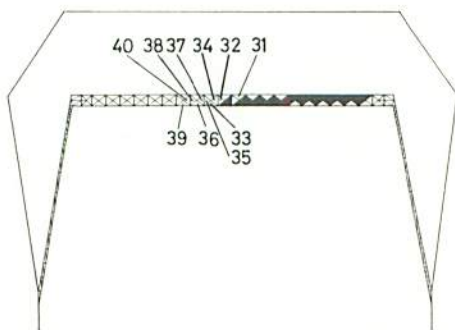


Fig. 7 Ten elements which will be fractured in the orders from 31st to 40th.
31 番目から 40 番目までの被破壊要素。

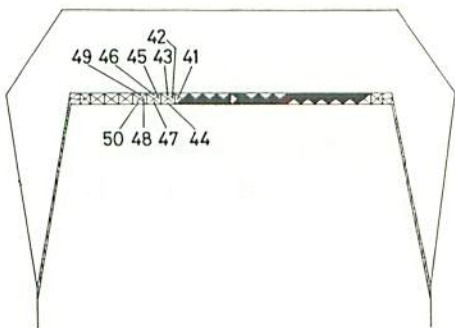


Fig. 8 Ten elements which will be fractured in the orders from 41st to 50th.
41 番目から 50 番目までの被破壊要素。

壊してしまっている事を思い起すと、この事情は理解しやすいであろう。Table 1 の OMTS の値は、従って、凝集破壊の進行と共に冠の保持力 R がどのように減少するかを示す量でもある。つまり (1) より

$$R \propto \frac{1}{(\text{OMTS})} \dots\dots\dots (3)$$

であるので、Fig. 9 の破壊の進行と保持力低下の関係を表す graph は破壊の順番を横軸に $1/(\text{OMTS})$ を縦軸にとって描いたものである。但し全然破壊がない場合の保持力を 1 と規格化して描いてある。

ここで蛇足ではあるが以下の点に触れておこう。ここまで破壊の順番というものを考えてきたが、凝集破壊が 7 種の作用外力の周期ごとに 1 段階ずつ進行するその順番という訳では決していない。接着剤層破壊の全段階が一度に起る場合もあり得るし、又、今の 10 番目までの破壊が一度の咀嚼咬合時に起る事もある訳である。上で解析は、破壊のある段階

の形状に接着層になっている補綴処置歯に外力が作用した場合、その接着剤層がどの様に破壊応力にさらされるかを見たのである。従って、咀嚼咬合の周期ごとの接着剤層の破壊の時間的進行の一段階一段階を“破壊の順番”としたのではない。

ところで、この小論で冠及び接着剤の硬さとして (2) の場合について解析したが、現在広く用いられている材料よりかなり軟かめである。これらに实际的な値を用いた議論は別の機会に報告したい。

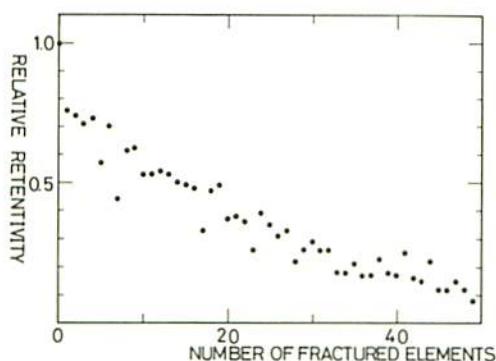


Fig. 9 Relation between the crown retention and the progress of a fracture in the cement layer. The original (pre-fractured) retentivity has been normalized to unity.

破壊の進行と保持力低下の説明。既破壊分割要素数に対する次の段階の破壊強さ。破壊強さは接着剤層が無欠陥であった最初の状態を1に規格化して表現してある。